

количество порового пространства, доступного для потока обеих фаз. И наоборот, пористая среда с небольшими пора́ми и имеет большие площади поверхности твердой сферы на единицу объема и оставляет меньше места для потока обеих фаз. Для случая $S_w = 0,78$ несмачивающая фаза образует несколько прерывистых капель, и некоторые капли захватываются в порах из-за пор в шахматном порядке. В случае $S_w = 0,45$ несмачивающая фаза в больших порах может легко объединяться и занимать большее количество соединяемых путей, поэтому несмачиваемая фаза может легко и непрерывно перемещаться в порах. Между тем, также наблюдается, что различные насыщения смачивания могут влиять на двухфазные схемы распределения [4].

По итогам работы можно сделать вывод о том, что проблема низкой продуктивности и низкого коэффициента нефтеотдачи рассматривается и решается. О чем свидетельствуют достижения, описанные в данной статье. Рассмотренные достижения могут помочь в лучшем понимании процессов, происходящих в пластах-коллекторах и выбрать и разработать новые, более продуктивные, методы воздействия на пласт.

Литература

1. Шарафутдинов Р.Ф., Бочков А.С., Шарипов А.М., Садретдинов А.А. Фильтрация газированной нефти при наличии фазовых переходов в пористой среде с неоднородной проницаемостью // Прикладная механика и техническая физика, 2017, том 58, выпуск 2, 98-102.
2. Зайченко В.М., Майков И.Л., Торчинский В.М. Особенности фильтрации углеводородных смесей в пористых средах // Теплофизика высоких температур, 2013, том 51, выпуск 6, 855–863.
3. Mohammad Amin Amoo, Joachim Moortgat. Higher-order black-oil and compositional modeling of multiphase compressible flow in porous media // International Journal of Multiphase Flow. Volume 105, August 2018, Pages 45-59
4. Shi Y., Tang G. H. Relative permeability of two-phase flow in three-dimensional porous media using the lattice Boltzmann method // International Journal of Heat and Fluid Flow. Volume 73, October 2018, Pages 101-113.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОДЕГИДРАТОРА

Е.С. Терентьев

Научный руководитель - профессор С.Н. Харламов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Целью данной работы является изучение установки комплексной подготовки нефти (УКПН), принцип действия электродегидратора и рассмотрение вопроса о повышении качества первичной переработки нефти на базе применения дополнительной 3-хступенчатой рабочей зоны. Для этого решаются следующие задачи: подбор и обработка технической литературы по теме и подготовка материала.

Эксплуатируемые установки подготовки нефти, газа и воды отличаются большим разнообразием по составу блоков, конструкции оборудования и характеру технологического процесса [1].

Подготовка нефти в зависимости от физико-химических свойств продукции скважины и требуемого качества товарной продукции проводится на следующих установках: ТХУ (термохимическая установка); ЭЛОУ (электрообессоливающая установка); УКПН (установка комплексной подготовки нефти).

Сырая нефть поступает на установки сепарационные, в которых от нефти происходит отделение свободного газа. После того, как газ отсепарировался, нефть поступает на установку обезвоживания, в которой осуществляет отделение пластовой воды от неё. С высокой минерализацией пластовых вод обезвоженная нефть поступает на установки обессоливания, а после чего – на установки стабилизации нефти. [1].

В настоящее время на российских заводах нефтепереработки используются горизонтальные электродегидраторы [2].

В нашей стране применяли следующие типов электродегидраторов:

- вертикальные
- шаровые
- горизонтальные

В горизонтальном электродегидраторе (рис.1) электроды расположены посередине установки. Они находятся в подвешенном положении горизонтально, друг над другом. Расстояние между электродами составляет от 25 до 40 см. Большой путь движения нефти является хорошим достоинством такой конструкции перед другими аппаратами.

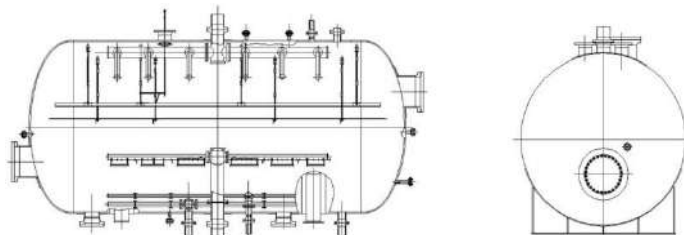


Рис.1 Горизонтальный электродегидратор

Принцип работы электродегидратора довольно прост. Если вода попадает в электрополе нефтяной эмульсии, ее частицы, которые имеют отрицательный заряд, перемещаются в капле. После пробоя оболочки

**СЕКЦИЯ 17. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ
И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА. ПОДСЕКЦИЯ 1. МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТА И ХРАНЕНИЯ
УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ**

отдельных капель воды из-за их стремления к положительному электроду и сталкивания. В результате происходит осаждение воды при сливание мелких капель в крупные.

Удаление соли из нефти с помощью электродегидратора является довольно простым решением, так как она растворена в воде. Но для полноты обессоливания требуется несколько этапов. Если концентрация соли высока, в нефть добавляется вода для ее вымывания.

Ввиду того, что электродегидратор является также и отстойником, в нем осаждается деэмульгированная нефть, помимо всего прочего [2].

Эксплуатация электродегидратора сложна в связи с их чувствительностью к скачкам производительности к изменению обводненности и других параметров нефти. Наиболее сложно поддерживать электродегидратор при обессоливании нефти, которая образует устойчивые эмульсии. Очень часто качество обессоливания нефти на современных отечественных нефтеперерабатывающих заводах не соответствует установленным требованиям.

Для повышения степени обезвоживания водонефтяной эмульсии рекомендовано существующие конструкции электродегидраторов оснастить дополнительной трехступенчатой рабочей зоной, состоящей из: конфузора; зоны постоянного сечения и диффузора. Это позволит добиться обезвоживания нефтепродуктов без существенных дополнительных затрат. Такая конструкция дает возможность в одном рабочем объеме аппарата организовать две ступени контакта эмульсии с электрическим полем, что приводит практически к полному обезвоживанию обрабатываемого нефтепродукта.

Моделирование процессов выполнено на основании уравнений, описывающих течение несжимаемой жидкости между электродами для схем, изображенных на рис. 2. Слабopроводящая жидкость с одной или двумя каплями воды движется между электродами. Верхняя и нижняя границы – это вход и выход слабopроводящей жидкости, а справа и слева заряженный и заземленный электроды.

Система уравнений, решаемая при моделировании, содержит обобщенную версию уравнения Навье-Стокса с дополнительной силой электрического поля и уравнение неразрывности потока.

$$\begin{cases} \rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho(u + \nabla)u = \nabla[-pI + \eta(\nabla u + (\nabla u)^T)] + F_{st} + \rho g + F, \\ \nabla \cdot u = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где ρ – плотность (кг/м^3); u – скорость потока (м/с); η – динамическая вязкость ($\text{Па}\cdot\text{с}$); p – давление (Па); I – единичный тензор; $\eta(\nabla u + (\nabla u)^T)$ – тензор вязких напряжений; g – ускорение свободного падения (м/с^2); F_{st} – силы на границе раздела (Н/м^3); F – дополнительная объемная сила электрического поля (Н/м^3).

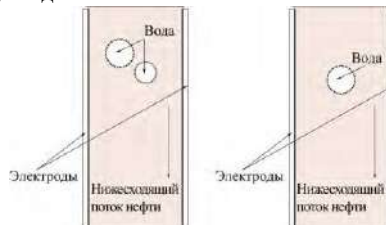


Рис.2 Схематичное представление модели слипания (а) и разрушения капель воды (б)

Для отслеживания движения фаз на границе раздела кастровое масло-вода использована система уравнений: [3]

$$\begin{cases} \frac{\partial \phi}{\partial t} + u \cdot \nabla \phi = \nabla \cdot \frac{3\chi\sigma\epsilon}{2\sqrt{2}} \nabla \Psi, \\ \Psi = -\nabla \cdot \epsilon^2 \nabla \phi + (\phi^2 - 1)\phi, \end{cases} \quad (2)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения (Н/м); ϵ – числовой параметр (м), χ – числовой параметр, характеризующий подвижность границы раздела.

Электрический потенциал V был рассчитан по уравнению: [3]

$$-\nabla \cdot (\epsilon_0 \epsilon_r \nabla V) = 0, \quad (3)$$

где ϵ_r – относительная диэлектрическая проницаемость среды; ϵ_0 – диэлектрическая постоянная вакуума;

Относительную диэлектрическую проницаемость определили в зависимости от внутренних объемных долей каждой жидкости:

$$\epsilon_r = \epsilon_{r1} V f_1 + \epsilon_{r2} V f_2 \quad (4)$$

здесь ϵ_{r1} и ϵ_{r2} – относительные диэлектрические проницаемости нефти и воды; $V f_1$ – объемная доля 1-й жидкости; $V f_2$ – объемная доля второй жидкости (нефть).

Напряженность электрического поля рассчитали по формуле:

$$E = -\nabla \cdot V, \quad (5)$$

Электрическую силу входящую в уравнение Навье-Стокса, определили, как: [3]

$$F = -\frac{\epsilon_0 \epsilon_r E^2}{\sigma_e} \nabla \sigma_e. \quad (6)$$

Электропроводность определяли в зависимости от внутренних объемных долей каждой жидкости:

$$\sigma_e = \sigma_{e1} V f 1 + \sigma_{e2} V f 2 \quad (7)$$

где σ_{e1} и σ_{e2} – электропроводность кастрового масла и воды соответственно [3].

Выполнив данные расчеты, выдвигается предложение о дополнении плоской системой электродов в электродегидраторах, которые используются в настоящее время, электродами, формируют каналы для прохождения нефти через конфузور, затем через зону постоянного сечения, после - через диффузор. Такое предложение позволяет изменить устройство потоков в установке и повысить количество удаляемой воды из нефти.

Стоит отметить, что использование электрического поля способствует улучшению процесса деструкции и коагуляции капель воды только при определенных значениях напряженности электрического поля.

С помощью модели, которая предложена в данной работе, можно провести анализ происходящих процессов, а также выбрать величины, режимы работы электрогидродинамических устройств, принимая во внимание особенности деструкции и коагуляции капель воды.

Учитывая все эффекты, которые описаны выше, можно:

- 1) выбрать наиболее подходящую конструкцию электроддегидратора;
- 2) добиться более мелкого диспергирования и оперативного слияния капель в электродегидраторах;
- 3) избежать электрического замыкания электродов в рабочей зоне электродиспергаторов и электрокоагуляторов

Литература

1. Tarantsev K.V. Study of Electrohydrodynamic Effects at a Liquid-liquid Interface Using Glass Screens between Electrodes. Chemical and Petroleum Engineerig. №. 46. С. 130-136.
2. Филимонова, Е. И. Основы технологии переработки нефти: Учебное пособие / Е. И. Филимонова. – Ярославль: издательство ЯГТУ, 2010. – 171 с.
3. Харламов С.Н., Зайковский В.В., Муратов В.М. Экспериментальное исследование движения капель воды в водонефтяной эмульсии при разделении в неоднородном электрическом поле // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 2016. - Т. 327. - №. 10. - С. 22-34.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВНУТРЕННИХ СЛОЖНЫХ ТЕЧЕНИЙ

Д.С. Фатьянов

Научный руководитель профессор С.Н. Харламов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Цель работы: выяснение преимущества полуэмпирического метода моделирования сложных сдвиговых течений в трубопроводах и прогноз пространственных ламинаризирующихся потоков.

Математическое описание различных физических процессов, которые окружают нас постоянно, и влияние которых требуется учитывать в огромном количестве сфер деятельности человека, казалось бы, должно быть уже давно изучено со всех возможных сторон. Однако, при более тщательном изучении тех или иных явлений, становится ясно, что это не всегда возможно, и именно поэтому строгие математические модели достаточно сложны или отсутствуют вовсе.

Попытки создания практически применимых математических моделей, способных описать сложные течения, если брать отсчет времени, начиная с опытов, проведенных Осборном Рейнольдсом, ведутся на протяжении уже более ста лет. Несмотря на это, до сих пор расчет сложного течения является трудноразрешимой задачей, а получение достоверных, проверенных экспериментально, всё ещё остается скорее исключением.

С одной стороны, сама проблема математического описания турбулентного течения может считаться решенной еще в первой половине XIX века, ведь описывается такое течение уравнениями Навье-Стокса. Однако на данный момент подтвержденные решения имеются только для нескольких случаев с простой геометрией. В других случаях применяется математическое моделирование. Но, хотя несомненно, что сегодня вычислительная техника может считаться очень развитой, ее возможностей все ещё недостаточно для проведения качественных расчетов течений при высоких числах Рейнольдса, которые и являются наиболее интересными с практической точки зрения и наименее изученными. В этом случае, основной проблемой становится поиск таких моделей, которые при наибольшем возможном количестве допущений, все же позволяют получить точность, достаточную для конечных потребителей.

Существующие сегодня подходы к моделированию турбулентности можно с некоторой степенью условности на четыре основные категории. Первая – наиболее распространенная в силу не такой большой требовательности к вычислительным ресурсам группа – методы, основанные на использовании осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса (RANS – Reynolds Averaged Navier-Stokes), замкнутых с применением полуэмпирической модели турбулентности. Вторая – прямое численное моделирование турбулентности (DNS – Direct Numerical Simulation). В этом случае трехмерные уравнения Навье-Стокса разрешаются численно всех пространственно-временных масштабов. Плюсом этого подхода является его полная независимость от соотношений, полученных эмпирическим путем. Третья группа – метод моделирования крупных вихрей (LES – Large Eddy Simulation). Здесь предварительно осуществляется фильтрация вихрей по их масштабу. Уравнения для части масштабов разрешаются так же численно, отфильтрованные же масштабы моделируются с использованием полуэмпирических зависимостей. Это позволяет уменьшить требования к производительности